



Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava

VŠB – Technical University of Ostrava



Fakulta strojní
Institut dopravy

Faculty of Mechanical Engineering
Institute of Transportation

Rotační kaskáda pro odvodnění proplástku

Rotary Cascade for Drainage Middlings

Bakalářská práce

Bachelor's Thesis

Autor Práce

Author

Lukáš Smetana

Vedoucí práce

Supervisor

prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Smetana**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2302R003 Dopravní stroje a manipulace s materiálem

Téma: **Rotační kaskáda pro odvodnění propláستku**
Rotary Cascade for Drainage Middlings

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Proveďte návrh zařízení pro odvodnění propláستku ze směsi surového uhlí a prací kapaliny v úpravnické lince na zpracování uhlí.

Základní technické parametry:

- dopravovaná surovina: směs propláستku a prací kapaliny
- zrnitost odvodňované suroviny: 0 – 20 mm
- průměr bubnu kaskády: 3 000 mm
- délka bubnu: 5 000 mm

Obsah bakalářské práce:

1. Úvod – rešeršní část, všeobecně o principech pro odvodnění surovin v úpravnických procesech .
2. Teoretické východisko – problematika změn mechanicko-fyzikálních vlastností různých směsí surového uhlí na dopravní trase, zabezpečení kontinuity toku.
3. Konstrukční návrh rotační kaskády.
Dimenzace zařízení se všemi potřebnými výpočty, včetně rozběhu, režim zastavení provozu .
4. Sestavný výkres rotační kaskády, detailní výkres zvolené části rotační kaskády podle vlastní volby.
5. Technická zpráva, bezpečnostní doporučení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

- Zegzulka, J.: Mechanika sypkých hmot, Ostrava:, VŠB-TUO, 2004, ISBN 80-248-0699-1
- Zegzulka, J.: Mechanika partikulárních hmot, skriptá v tisku
- Zegzulka, J.: Standard smykové zkoušky partikulárních hmot, Working Party on the Mechanics of Particulate Solids, European Federation of Chemical Engineering, 2006, ISBN 80-248-1051-4
- Přednášky z předmětu Dopravníky – prof.ing.Jiří Zegzulka, CSc.
- Pešat, Z.: Manipulace s materiálem v hutích I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1992.
- Cvekl, Zl., Janovský, L., Podivínský, C. , Talácko, J.: Teorie dopravních a manipulačních zařízení, Praha: ČVUT Praha, 1984.
- Dražan, F., Jeřábek, K.: Manipulace s materiálem. Praha: SNTL/ALFA, 1979.
- Dražan, F., Cvekl, Z. a kol. : Teoretické základy transportních zařízení. Praha: SNTL/ALFA, 1976
- Novotný, J., Podivínský, V.: Podklady pro konstrukční cvičení z transportních zařízení. Skriptum. Praha:

ČVUT Praha, 1974.
Firemní literatura, časopisy, patenty

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Abstrakt

Úkolem této bakalářské práce je návrh zařízení - rotační kaskády, sloužící k odvodnění proplástku vytěženého z uhelného dolu Lazy. V první části budou popsány způsoby odvodnění proplástku. Dále bude proveden výpočet potřebného výkonu motoru rotační kaskády, volba motoru a návrh odpovídající kladky podpírající celou rotační kaskádu. K bakalářské práci bude doložen sestavný výkres kaskády.

Klíčová slova

Rotační kaskáda, odvodnění materiálu, odvodnění proplástku.

Abstract

The task of this thesis is the design of the equipment - rotary cascade, used for drainage middlings extracted from a coal mine Lazy. The first part describes methods of drainage middlings. Also, calculation of the necessary engine power for the rotary cascade, motor choice and supporting rollers supporting whole rotary cascade will be made. Assembly drawing will be included.

Key words

Rotary cascade, material drainage, drainage middlings

Bibliografická citace

SMETANA, L. Rotační kaskáda pro odvodnění proplástku. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2016; Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Jiří Zegzulka, CSc.

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 16. května 2016

.....

Smetana Lukáš

Prohlašuji že,

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :

.....

podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Smetana Lukáš

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Oprechtice 85,
Paskov, 73921

Poděkování

Děkuji své rodině za možnost studovat a veškerou podporu, co mi dodávali a stále dodávají. Velké díky patří mému vedoucímu práce prof. Ing. Jiřímu Zegzulkovi CSc. za nasměrování při tvorbě této práce. Děkuji Centru ENET, VŠB – TU Ostrava za možnost využití jeho výzkumné infrastruktury. V neposlední řadě patří obrovské díky kolektivu skvělých lidí, které mám okolo sebe. Děkuji.

Obsah

1. ÚVOD	15
2. SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU	16
2.1 PŘEHLED PODÍLŮ VODY V UHLÍ:	16
2.2 DĚLENÍ PALIV	17
2.3 ZPŮSOBY ODSTRANĚNÍ VLHKOSTI Z MATERIÁLU	17
2.3.1 Fyzikálně-chemické	17
2.3.2 Tepelné (sušení)	17
2.3.3 Vymrazování	17
2.3.4 Mechanické	18
3. ZAŘÍZENÍ PRO MECHANICKÉ ODVODNĚNÍ	19
3.1 ZA PŮSOBENÍ Odstředivých sil	19
3.1.1 Hydrocyklón	19
3.1.2 Odstředivky	20
3.1.3 Třídící síta (rotační třídič)	21
3.2 LISOVÁNÍ	22
3.2.1 Kalolisy	22
3.2.2 Pásové lisy	23
3.3 FILTROVÁNÍ	24
3.3.1 Hyperbarický filtr	24
3.4 VYSÁVÁNÍ	25
3.4.1 Korečková kola	25
3.5 GRAVITAČNÍ PŮSOBENÍ	26
3.5.1 Rotační kaskáda	26
3.5.2 Třídící síta (vibrační třídič)	27
3.5.3 Odvodňovací šneky	28

3.5.4	Hrabičkový vynašeč.....	29
3.5.5	Vibrační odvodňovač	30
3.5.6	Rotační kaskáda „Lazy“	31
4.	TEORETICKÉ VÝCHODISKO.....	32
5.	VÝPOČET POJEZDOVÝCH KOL	33
5.1.	SÍLA PŮSOBÍCÍ NA POJEZDOVÁ KOLA.....	33
5.1.1	Síla působící na pojezdová kola od hmotnosti kaskády	34
5.1.2	Síla působící na pojezdová kola od hmotnosti materiálu.....	34
5.1.3	Celková síla působící na pojezdová kola	34
5.1.4	Síla působící na pojezdové kolo	34
5.2.	NÁVRH POJEZDOVÉHO KOLA.....	35
5.2.1.	Minimální průměr pojezdového kola.....	35
5.2.2.	Otáčky pojezdového kola	35
5.2.3.	Součinitel počtu otáček	36
5.2.4.	Součinitel trvanlivosti.....	36
5.2.5.	Maximální únosnost kola.....	36
6.	VÝPOČET POHONU	37
6.1	STANOVENÍ ODPORU POJÍŽDĚCÍCH KOL T :	38
6.2	STANOVENÍ POTŘEBNÉHO VÝKONU MOTORU P_{PK}	39
6.3	VOLBA MOTORU	39
6.3.1	Motor musí splňovat podmínku:	40
6.4	VÝSLEDNÝ ROZJEZDOVÝ MOMENT	40
6.4.1	Stanovení momentů pasivních odporů.....	40
6.4.2	Stanovení zrychlující síly posouvajících se hmot	41
6.4.3	Stanovení momentu zrychlujících sil hmotností posouvajících se hmot	41
6.4.4	Stanovení momentu zrychlujících sil hmot rotujících.....	42
6.4.5	Stanovení celkového momentu rozběhu redukováného na hřídel motoru	42

6.5	KONTROLA ROZJEZDU MOTORU.....	42
7.	HNACÍ HŘÍDEL.....	43
7.1.	VÝPOČET MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU HNACÍHO HŘÍDELE.....	44
7.2.	VÝPOČET DÉLKY PERA	45
7.3.	KONTROLNÍ VÝPOČET PEVNOSTI VE STŘIHU PERA.....	45
7.4.	KONTROLNÍ VÝPOČET MĚRNÉHO TLAKU NA BOKY PERA.....	46
8.	PRŮBĚŽNÁ TRUBKA PRO PŘENOS KROUTICÍHO MOMENTU	47
8.1.	NAMÁHÁNÍ OD KROUTICÍHO MOMENTU	47
8.2.	VÝPOČET PRŮHYBU TRUBKY	48
9.	NAMÁHÁNÍ HŘÍDELE POD POJEZDOVÝM KOLEM.....	48
10.	TECHNICKÁ ZPRÁVA.....	49
11.	ZÁVĚR	50
	SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ.....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK.....	52
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM PŘÍLOH	54

Seznam použitých označení

Označení	Název	Jednotka
m_K	celková hmotnost bubnu kaskády	Kg
g	gravitační zrychlení	$m \cdot s^{-2}$
F_K	síla působící od hmotnosti kaskády	N
F_b	síla působící od hmotnosti materiálu	N
S_s	pracovní síťová plocha	m^2
h_v	největší přípustná vrstva na ploše sít	m
ρ	hustota propláستku	$kg \cdot m^{-2}$
F_C	celková síla působící na pojezdová kola	N
F_{CK}	síla působící na jedno pojezdové kolo	N
k	součinitel druhu materiálu	MPa
b_K	šířka věnce kaskády	mm
D_K	průměr pojezdového kola	mm
D_{MIN}	minimální průměr pojezdového kola	mm
n_K	otáčky pojezdového kola	ot/min
v	pojezdová rychlost	m/min
f_N	součinitel počtu otáček	-
f_H	součinitel trvanlivosti	-
Y	trvanlivost	hod
K_{MAX}	maximální únosnost kola	N
T	odpor pojížděcích kol	N
R	poloměr pojezdového kola	m

r	poloměr čepu	m
X	součinitel přídatných odporů	-
f_c	součinitel čepového tření	-
e	součinitel valivého tření	-
P_{PK}	potřebný výkon motoru	W
η_{CP}	účinnost převodové skříně	-
P_N	jmenovitý výkon	kW
n_M	otáčky elektromotoru	ot/min
$\eta_{100\%}$	účinnost při 100% výkonu	-
J_M	moment setrvačnosti motoru s brzou	kg·m ²
M_A/M_N	poměrný spouštěcí moment	-
M_H/M_N	poměrné momentové přetížení	-
M_N	výstupní točivý moment za převodovkou	-
n_A	výstupní otáčky	ot/min
i	převodový poměr	-
M_T	momenty pasivních odporů	N·m
F_{ZP}	zrychlující síla posouvajících se hmot	N
t_a	doba rozjezdu	s
M_{ZP}	moment zrychlujících sil posouvajících se hmot	N·m
M_{ZR}	moment zrychlujících sil hmot rotujících	N·m
α	součinitel zahrnující vliv zrychlení hmot rotujících na jiných hřídelích	-
M_{ROZJ}	celkový moment rozběhu	N·m
τ_{DK}	dovolené napětí v krutu	MPa

W_K	modul průřezu v krutu	mm^3
d	průměr hnací hřídele	mm
p_D	maximální dovolený tlak	MPa
l_P	délka pera	mm
t_1	hloubka drážky v náboji	mm
b	šířka pera	mm
T_{DS}	dovolené napětí ve smyku	MPa
p	měrný tlak	MPa
S_p	průřez drážky na pero	mm^2
D_t	vnější průměr trubky	mm
d_t	vnitřní průměr trubky	mm
W_O	modul průřezu v ohybu	mm^3
M_O	ohybový moment	$\text{N}\cdot\text{m}$
σ_O	ohybové napětí	MPa
σ_{RED}	redukované napětí	MPa
σ_{Tdov}	dovolené maximální ohybové napětí	MPa
τ_K	napětí v krutu	MPa

1. Úvod

Pro úpravnu uhlí na provozu Lazy, ležící v Karvinské oblasti Ostravsko-Karvinského černouhelného revíru, navrhujeme vhodný způsob odvodnění propláستku.

Zařízení bude pracovat s co nejmenším počtem technických přestávek, nízkými požadavky na zaškolení obsluhy a ideálně nulovou poruchovostí.

Odvodňovanou emulzí bude propláستek ze směsi surového uhlí a prací kapaliny vycházející z úpravnické linky. Tento materiál je charakteristický svou lepivostí, jelikož se většinou jedná o směs jílu, a uhlí. Je třeba navrhnout takové zařízení, které bude vhodné pro tuto aplikaci.

Materiál na zařízení bude přiváděn ze zásobníku a objemový tok bude regulován regulačními tyčemi, ovšem ani tak si nemůžeme dovolit úplně zastavit provoz kvůli výměně části zařízení. Při návrhu zařízení nejsme nijak limitováni velikostí zástavbového prostoru, ovšem musíme brát v potaz montáž v druhém – nejvyšším patře budovy provozu.

Po úvodní části, která je věnována rešerši zařízení použitelných pro tento úkon a zasvěcení do problému následují potřebné výpočty pohonu, podepírajících kladek a kontrola na rozběh společně s konstrukčním návrhem a sestavným výkresem zařízení.

2. Seznámení s problematikou

Maximální obsah vody v černém uhlí procházejícím přes úpravnu praním je cca 34%. Vlivem mokré úpravy uhlí je docíleno menšího obsahu popelu a vyšší výhřevnosti uhlí. Voda je v uhlí obsažena v několika formách. (1) Jako voda:

- a) Povrchová – poutána na povrchových plochách uhlí, samovolně se odpařuje působením atmosférických vzduchu.
- b) Hydroskopická – kapilárně vázaná, odstraňuje se z uhlí zahříváním na teplotu 105 – 110 °C
- c) Konstituční – voda chemicky vázaná, její množství je nepatrné a uvolňuje se až při vysokých teplotách

Stanovením obsahu vody v uhlí se zaobírá norma CSN 44 1377

2.1 Přehled podílů vody v uhlí:

hrubá voda (Wex)

- voda, která unikne ze vzorku paliva při dosažení přibližné rovnováhy s atmosférou, které byl vystaven. (2)

voda zbylá (Wh)

- obsah vody ve vzorku paliva po dosažení přibližné rovnováhy s atmosférou, které byl vystaven. Je kapilárně vázaná, sušení při 110 °C. (2)

veškerá voda (Wt)

- obsah vody v palivu v době vzorkování, kterou lze odstranit za vymezených podmínek a představuje celkový obsah hrubé a zbylé vody v procentech hmotnosti. (2)

vlhkost (W)

- představuje poměr hmotnosti vody v pórech ke hmotnosti pevné fáze uhelné hmoty. (2)

nasákavost (Wmax)

- se vyjadřuje v procentech pomocí vlhkosti. Představuje schopnost uhelné hmoty přijímat vodu do tzv. otevřených pórů, které jsou spojeny s okolním prostředím. (2)

2.2 Dělení paliv

Z technologického hlediska výroby a úpravy tříděných druhů uhlí lze paliva rozdělit na:

- Mokrá paliva
 - paliva pokrytá na povrchu volnou vodou, kterou lze snadno odstranit např. odstředěním. Voda gravitačně odtéká a samovolně se odpařuje na vzduchu. Jedná se o paliva s vodou povrchovou.
- Oschlá paliva
 - na pohled suchá paliva bez volné povrchové vody, jež volným vysycháním na vzduchu ztrácejí vodu až po určitou mez danou teplotou a tlakem par okolní atmosféry. Jedná se o paliva s obsahem hrubé vody. (2)

2.3 Způsoby odstranění vlhkosti z materiálu

2.3.1 Fyzikálně-chemické

Pohlčení vlhkosti hydroskopickými látkami, například chloridem vápenatým, kyselinou sírovou aj. Fyzikálně-chemický způsob sušení je poměrně drahý a složitý. Používá se především k odstranění vlhkosti z plynů.

2.3.2 Tepelné (sušení)

Vypařování, odpařování a kondenzace. Používá se, pokud chceme vlhkost z materiálu odstranit úplně. Proces, při kterém se odstraňuje vlhkost ve formě vodní páry jak z povrchu, tak z vnitřní textury, se nazývá sušení.

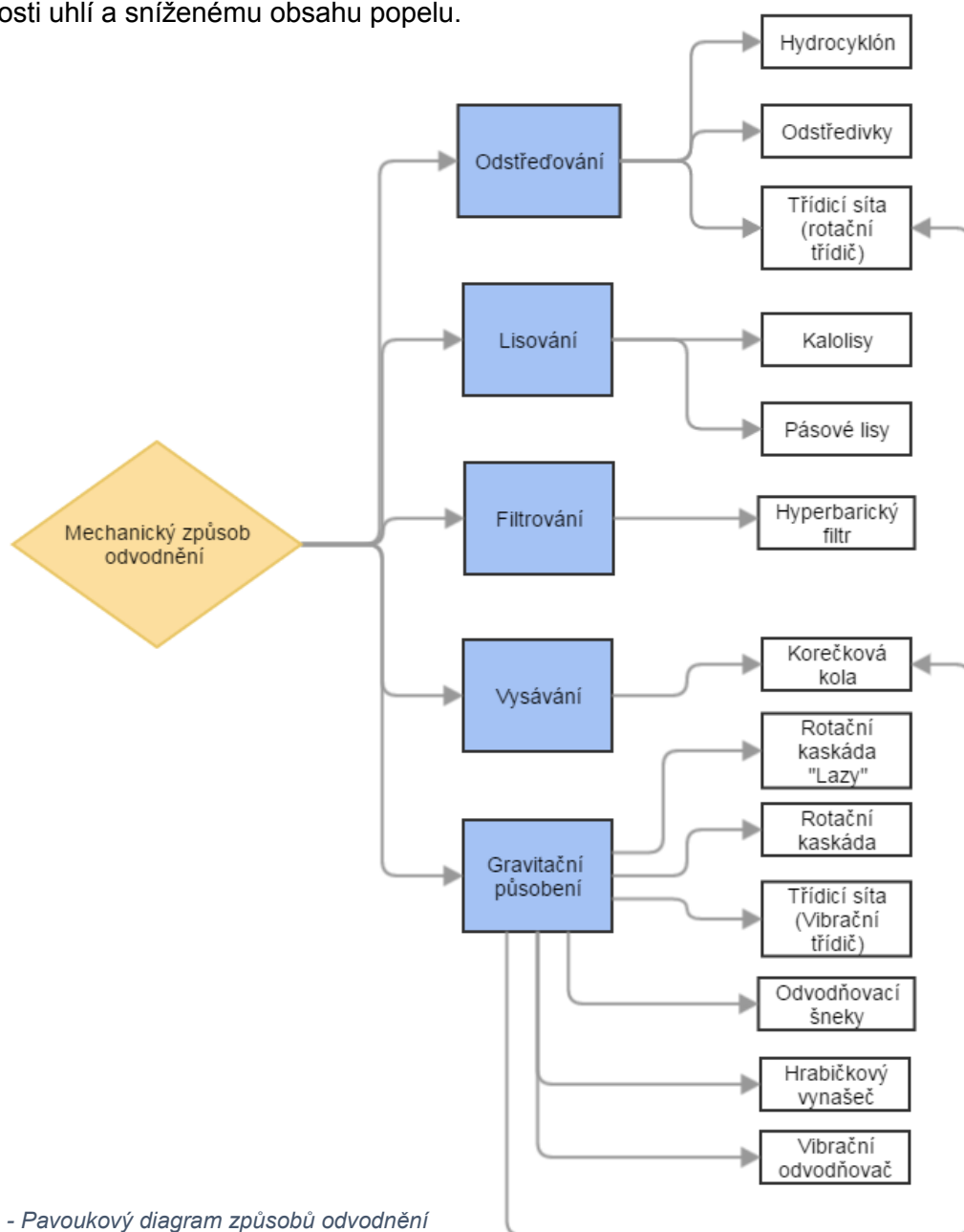
2.3.3 Vymrazování

Materiál se nejdříve podchladí na nízkou teplotu a tím se nám vlhkost v materiálu změní na led. Poté dochází k odstranění přebytečné vlhkosti ve formě ledových krystalků sublimací.

2.3.4 Mechanické

Tohoto způsobu odstranění vlhkosti použijeme tehdy, není-li třeba vlhkost odstranit úplně. Za pomoci mechanického způsobu odstranění vlhkosti se dokážeme zbavit pouze vody volné. Do této kategorie patří lisování, vysávání, filtrování, gravitační působení a odstřeďování.

Při úpravě uhlí se zaměříme na mechanický způsob odvodnění uhlí. Není žádoucí materiál vysoušet, došlo by k nadměrnému vysušení uhlí, které by následně ztratilo své vlastnosti, a bylo by docíleno vyšší prašnosti. Záměrem je pouze z uhlí odvést volnou vodu, která nebude mít za následek degradaci uhlí a naopak, pomůže ke zvýšení výhřevnosti, snížení prašnosti uhlí a sníženému obsahu popelu.



Obr. 1 - Pavoukový diagram způsobů odvodnění

3. Zařízení pro mechanické odvodnění

3.1 Za působení odstředivých sil

3.1.1 Hydrocyklón

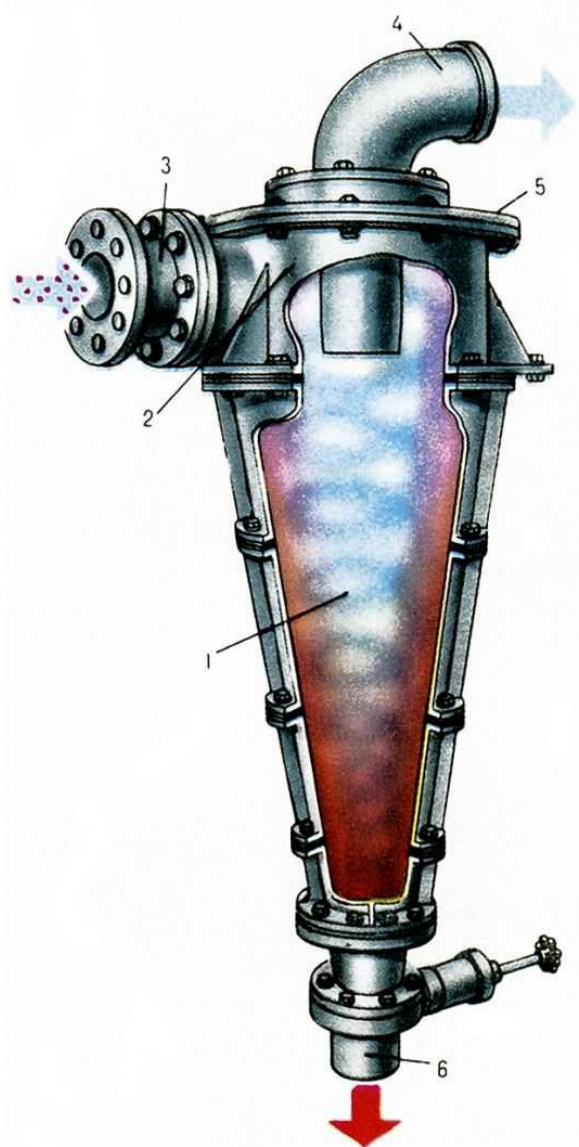
Hydrocyklóny, nebo-li separátory fungují na principu centrifugy a jedná se tedy o tangenciální separaci - odstředování. Do hydrocyklónu se tangenciálně navede suspenze a vlivem odstředivé síly jsou separovány částice těžší, než voda. Ta je potom odváděna horní části hydrocyklónu, zatímco částice propadávají spodem. Hydrocyklóny se vyrábějí s průtoky od 28 l/min do 500 l/min, přičemž u všech průtoků se doporučuje maximální tlak, pod kterým je suspenze naváděna, do 2,5 Bar. Při požadavcích na vyšší průtok je možné hydrocyklóny připojovat přes rozdělovač ať už do paralelních, či kruhovitých baterií. (3)

Výhody:

- Nízké servisní náklady
- Jednoduchá instalace
- Nízká investice
- Žádné pohyblivé části
- Vysoká účinnost
- Nemůže se ucpat filtrační element

Nevýhody:

- Nutná předfiltrace na 1mm zrno
- Nutnost konstantního průtoku
- Nutnost konstantního tlaku do 2,5 bar
- Malé průtokové objemy



Obr. 2 - Hydrocyklón se znázorněním funkce (23)

3.1.2 Odstředivky

Vysokorychlostní odstředivé separátory, zkráceně odstředivky. Používáme je k separaci částic pevné hmoty z jedné, či dvou kapalin. Jejich nevýhoda je malý objemový průtok. Tohle zařízení je dobře známé z lékařského prostředí, kde slouží k separaci krevních krvinek, plasmy apod. Krom toho, odstředivky jsou používány k čištění olejů, živočišných tuků či odpadních vod.

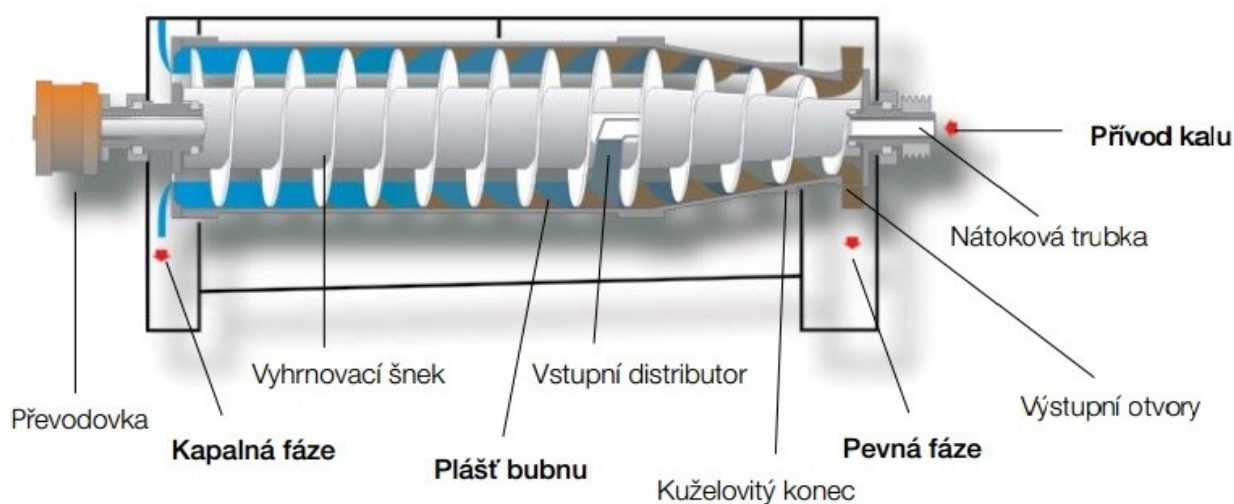
Separace probíhá ve vodorovném válcovitém bubnu, ve kterém je umístěn vyhrnovací šnek. Suspenze vstupuje do bubnu pevnou vstupní trubkou a následně je ve vstupním distributoru pozvolna uveden do rotačního pohybu. Díky odstředivé síle se pevné částice usazují na stěnách po celé délce rotujícího bubnu. Vyhrnovací šnek se otáčí ve stejném směru jako buben, ale v důsledku rozdílné rychlosti otáčení tlačí pevné částice směrem do kuželovité části bubnu. (4)

Výhody:

- Malé prostorové nároky
- Kontinuální provoz
- Vysoká provozní bezpečnost
- Žádné prachové emise

Nevýhody:

- Potřeba kvalifikované obsluhy
- Velká energetická náročnost
- Vyšší provozní náklady
- Obsah sušiny kolem 40%
- Velikost částic do 15mm
- Průtokový objem $1-15 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$



Obr. 3 – Odstředivka (24)

3.1.3 Třídící síta (rotační třídič)

Třídící síto slouží k mechanickému oddělení zrna od kapaliny, či roztřídění materiálu na složky o 2 (a více) velikostech zrn. Nevýhodou může být jednoúčelnost zařízení - uplatnění pouze pro jednu velikost zrna. Tohle se ovšem dá řešit sestavou sít o různých velikostech ok.

Síto je umístěno na základně, která se sitem otáčí. Voda protéká skrz síto, pohybu materiálu je docíleno pomocí odstředivé síly vyvolané rotací síta.

Pro třídění na více frakcí můžeme použít systém umístění více sít nad sebou o jiné velikosti oka síta. Třídící síta se používají pro třídění sypkých a nelepivých materiálů. Pro třídění mírně lepkavých materiálů jsou vibrační třídící síta doplněna tzv. „oklepovými koulemi“, které zajistí průběžné čištění plochy síta před zanesením. (5)

Výhody:

- Malá prostorová náročnost
- Malá energetická náročnost
- Nízká pořizovací cena

Nevýhody:

- Malé objemové průtoky
- Nemožnost třídít lepkavý materiál
- Působení vibrací v prostoru



Obr. 4 - Soustava rotačních třídících sít (5)

3.2 Lisování

3.2.1 Kalolisy

Kalolisy jsou diskontinuální zařízení, v nichž je filtrovaná suspenze pod tlakem dopravována do filtračních komor kalolisu. Komory jsou tvořeny hydraulicky stlačenými elementy - deskami. Pevné podíly jsou zachycovány na filtračních plachtách umístěných mezi jednotlivými deskami kalolisu, kde vytvářejí filtrační koláč. Filtrát odtéká drenážními kanálky do sběrného systému. Po otevření hydraulického uzávěru jsou od sebe oddáleny jednotlivé filtrační elementy a koláč bývá ručně nebo automaticky odstraněn z vnitřních prostor desek. Po opětovném sestavení filtračních elementů a případném promytí filtračních plachetek se celý filtrační cyklus opakuje.

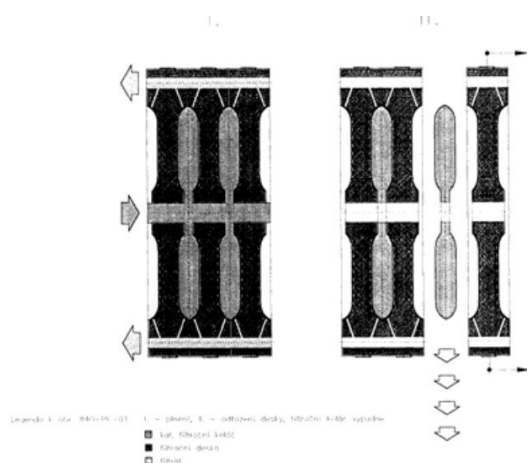
Z popisu funkce je jasné, že kalolisy, stejně jako pásové lisy, nelze použít pro materiály o relativně velkém zrně. Používá se především pro odvodňování vodárenských kalů. (6)

Výhody:

- Nízké provozní nároky
- Nízká hlučnost
- Podíl sušiny až 45%
- Jednoduchá obsluha

Nevýhody:

- Prostorová náročnost
- Nutnost vysokotlakých čerpadel
- Přerušovaný cyklus odvodňování



Obr. 6 - Komora kalolisu (6)

Komorový kalolis KK 1000 firmy Envites



Obr. 5 - Komorový kalolis (6)

3.2.2 Pásové lisy

V poslední době se stále více rozvíjí použití pásových lisů v oblasti strojního odvodňování. Bohužel pro nás, nelze jej použít pro odvodňování pevných částic většího zrna z důvodu možného poškození pásu. Pásové lisy se využívají pro odvodnění vodárenských kalů.

Popis funkce:

Filtrační plocha těchto zařízení je tvořena paralelními sítý, které jsou vedeny přes řadu vodících a vypínacích válců. Suspense upravená polyflokulanty natéká na síťový pás, působením tíže procezuje voda a na sítu se vytváří filtrační koláč. Dalším pohybem pásu se dostává filtrační koláč mezi dvě síta a je jimi mechanicky stlačován. Po vytěsnění volné vody přechází filtrační koláč, sevřený mezi dvěma sítý, přes řadu paralelních válců. Zde je přehybem vrstvy a tlakem sít uvolňována další voda z koláče. Po odstranění tenké vrstvy filtračního koláče se proces znovu opakuje. (6)

Výhody:

- Koncentrace odvodněného kalu 20-35%
- Kontinuální provoz
- Jednoduchá obsluha

Nevýhody:

1. Energetická náročnost
2. Spotřeba prací vody
3. Občasná nutnost předchozího vytvoření filtračního koláče



Obr. 7 - Pásový lis (6)

3.3 Filtrování

3.3.1 Hyperbarický filtr

jedná se o filtr zabudovaný do válcové tlakové nádoby, kde přivedeme suspenzi a pomocí přetlaku ji filtrujeme přes filtr. Suspenze se zachytává na filtru, odkud ji následně odvádíme pryč.

Používá se na úpravně v dole Paskov po procesu flotace (separace uhlí od hlušiny) k snížení obsahu volné vody v odvodňovaném materiálu. Hyperbarickým filtrem jsme schopni snížit obsah vody až v 30 tunách materiálu za hodinu. (7)

Výhody:

- Dokáže odvodnit na 10,5 – 11% obsahu vody v sušině

Nevýhody:

- Velikost zrna 0.5 – 1mm
- Vysoká investice (80mil Kč.)



Obr. 8 - Hyperbarický filtr (8)

3.4 Vysávání

3.4.1 Korečková kola

Korečková kola nám slouží k nabírání a zároveň odvodňování nabíraného materiálu. Nakládání kal se přivede ke korečkovému kolu, které pomocí korečků po svém obvodu kal nabere a odvodní. Míru odvodnění můžeme řídit regulací otáček, případně můžeme dosáhnout lepšího odvodnění přidáním přidavných podtlakových komor, které se mohou nacházet v samotném tělese kola. Korečky jsou vybaveny postranními a nabíracími noži, které lze v závislosti na výrobci v případě opotřebení vyměnit. Samotný koreček je vyráběn se sítí.

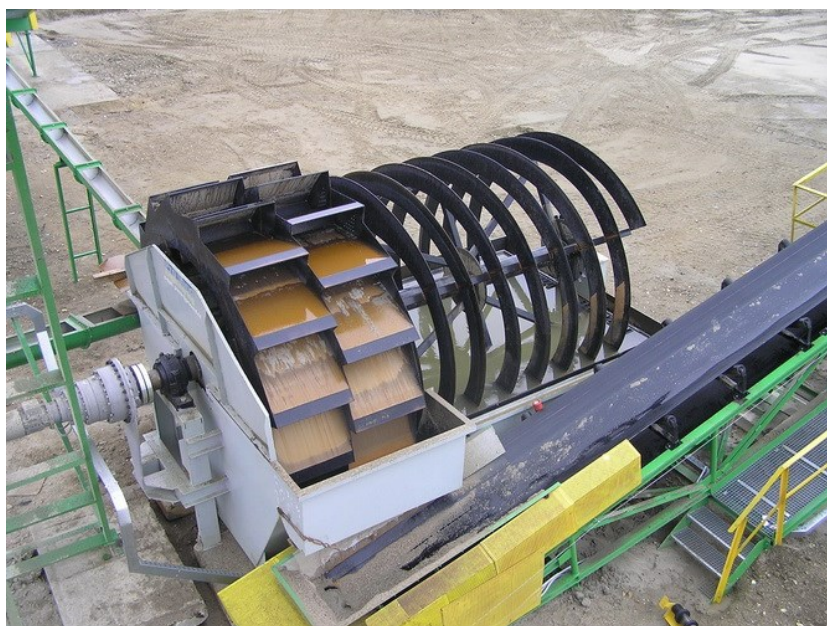
V korečkových kolech odvodňujeme materiál o zrnitosti 0-22mm. Voda ze suspenze samovolně odtéká do vany nebo je vysávána podtlakovou komorou. Samotný odvodněný materiál vypadává na druhé straně kola k další dopravě, případně zpracování. Šnekové kolo (na obr. 9) přihrnuje usazené částice kameniva, či jiného materiálu, zpět do vany korečkového kola, kde je korečkové kolo opět nabírá. (9)

Výhody:

- Kontinuální provoz
- Možnost osazení podtlakovou komorou pro lepší výsledky
- Výměnné nože pro případ opotřebení

Nevýhody:

- Nároky na obestavěný prostor
- Zrnitost 0-22 mm



Obr. 9 - Korečkové kolo s přihrnovacím šnekem (9)

3.5 Gravitační působení

3.5.1 Rotační kaskáda

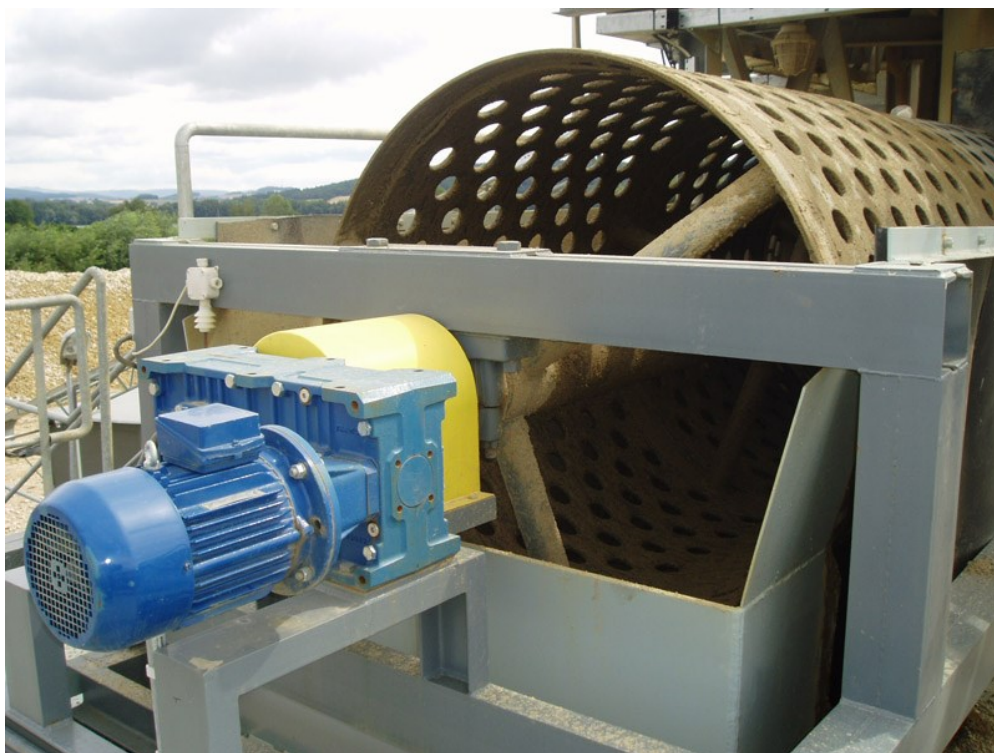
Používá se, pokud máme požadavek na velkou hodinovou kapacitu třídiče a pro třídění vlhkých a lepkavých materiálů. Tohle řešení se tedy hodí do úprav na doly a podobné provozy, kde potřebujeme vytřídit velké množství materiálu bez dalších komplikací, jako je například čištění „oklepovými koulemi“ v případě třídicích sítí. Principem třídění je posun materiálu uvnitř rotujícího bubnu, jehož obvodový plášť je osazen velikostním rastrem anebo výměnnými sítí. Tyto třídiče se vyrábějí i v dvoububnové variantě, kdy dokážou vytřídit materiál na tři výstupní frakce. (10)

Výhody:

- Velké objemové průtoky
- Možnost třídít lepkavé a vlhké materiály
- Nezátěží okolí vibracemi

Nevýhody:

- Rozměrnost zařízení
- Vstupní investice



Obr. 10 - Rotační kaskáda (10)

3.5.2 Třídící síta (vibrační třídič)

Třídící síto slouží k mechanickému oddělení zrna od kapaliny, či roztřídění materiálu na složky o 2 (a více) velikostech zrn. Nevýhodou může být jednoúčelnost zařízení -uplatnění pouze pro jednu velikost zrna. Tohle se ovšem dá řešit sestavou sít o různých velikostech ok.

Pro třídění na více frakcí můžeme použít systém umístění více sít nad sebou o jiné velikosti oka síta. Třídící síta se používají pro třídění sypkých a nelepivých materiálů. Pro třídění mírně lepkavých materiálů jsou vibrační třídící síta doplněna tzv. „oklepovými koulemi“, které zajistí průběžné čištění plochy síta před zanesením

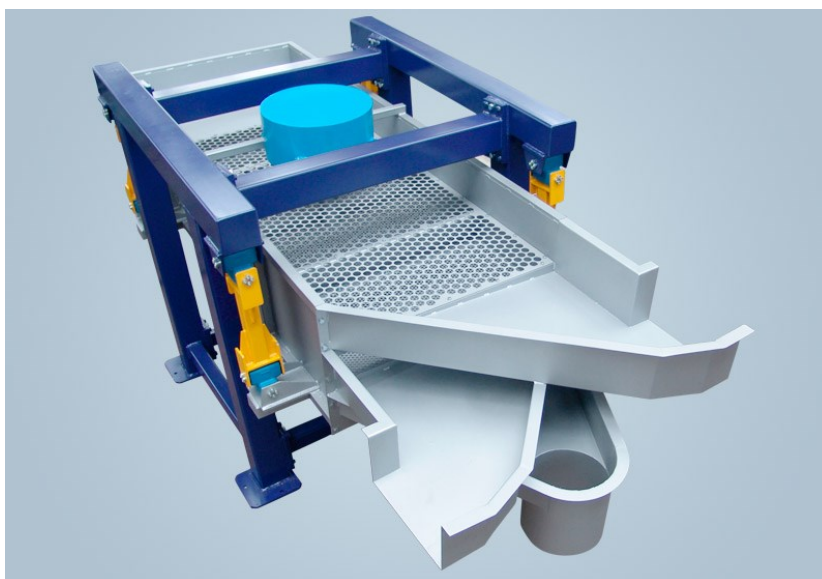
Třídící síto, které je umístěno pod sklonem, vibruje (tzv. vibrační třídič). Voda protéká skrz síto a materiál putuje po skloněném sítě k danému místu, kde ho následně odebíráme. (11)

Výhody:

- Malá prostorová náročnost
- Malá energetická náročnost
- Nízká pořizovací cena

Nevýhody:

- Malé objemové průtoky
- Nemožnost třídít lepkavý materiál
- Působení vibrací v prostoru



Obr. 11 - Vibrační třídič (11)

3.5.3 Odvodňovací šneky

Odvodňovací šneky se používají k čištění a odvodnění materiálu v jednom procesu. Tato technologie se používá pro vyplavovací, tzv. elutriační, třídění v gravitačním poli. Výsledným produktem je poté materiál zbavený volné vody a odpadní voda (kal s frakcí z jemných zrn).

Základním prvkem odvodňovacího šneku je samotný šnekový dopravník složen z jednoho až dvou šneků o průměru až 1 m poháněný elektromotorem. Materiál je z vany vynášen otáčením šneku a voda odtéká otvorem v dolní části vany. Je důležité, aby se šnek pohyboval rovnoměrně a s malými otáčkami (1 otáčka za 4-8 minut), tím se zabrání nežádoucímu víření a dosáhneme co největšího odvodnění.

Šnekový vynášec nebývá vybaven zachycovačem jemných podílů. Na listech šneku bývají našroubované vyměnitelné litinové, či ocelové desky, aby mohly být při nadměrném opotřebení vyměněny. Použití ve vinařském průmyslu pro odvedení rmutu, či pro odvodňování kalů. Podíl sušiny 20-25%. (12)

Výhody:

- Dopravované délky až 30 m
- Kontinuální provoz

Nevýhody:

- Objemy kolem 50 t/hod
- Vysoká energetická náročnost
- Náročná údržba



Obr. 12 - Kalový odvodňovací šnekový vynášec (12)

3.5.4 Hrabičkový vynašeč

Princip práce je velice podobný šnekovému vynašeči s tím rozdílem, že materiál je z vany vynášen pomocí elementů – hrabiček, připevněných na řetězu a na konci vany přepadává přes její délku. Výhodou oproti šnekovému dopravníku je, že se materiál nepromíchává a není drcen na prach. Rychlost posuvu hrabičkového vynašeče je zpravidla kolem 0,3m/s a dopravní vzdálenost může být až do několika desítek metrů, podle výrobce. Nehodí se pro abrazivní či lepkavé materiály. (12)

Výhody:

- Materiál není drcen během přepravy
- Velké dopravované délky
- Kontinuální provoz

Nevýhody:

- Výkon do 80t/hod
- Opotřebení čepů a pouzder
- Vysoké provozní náklady



Obr. 13 - Hrabičkový vynašeč (25)

3.5.5 Vibrační odvodňovač

Vibrační odvodňovače slouží k odstranění přebytečné vody zůstávající v dané látce po jakékoliv mokré úpravě. Jedná se o plošný odvodňovač s propadem podsítné frakce po celé délce odvodňovače. V čele skříně jsou síťové moduly pro odtok přebytečné vody.

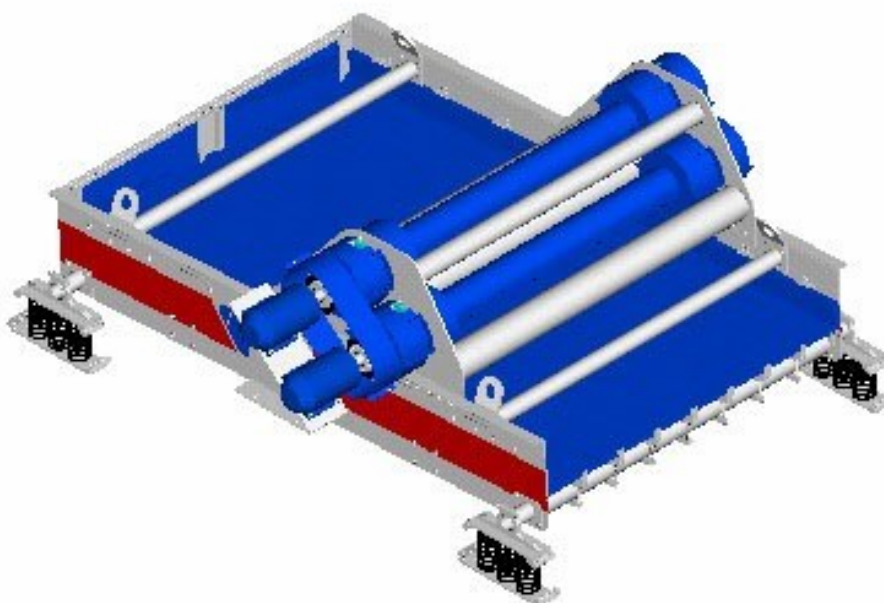
Pohyb skříně je vybuzen dvojicí budičů umístěných v horní části skříně, které tvoří nevyvážená hmota. Vibrační odvodňovače se hodí do lehkých a středních provozů, na odvodňování velkého objemového průtoku nemá kapacitu. (13)

Výhody:

- Odolnost proti zaklínování
- Malé provozní náklady
- Snadná výměna odvodňovací plochy
- Malé nároky na obestavěný prostor
- Kontinuální provoz

Nevýhody:

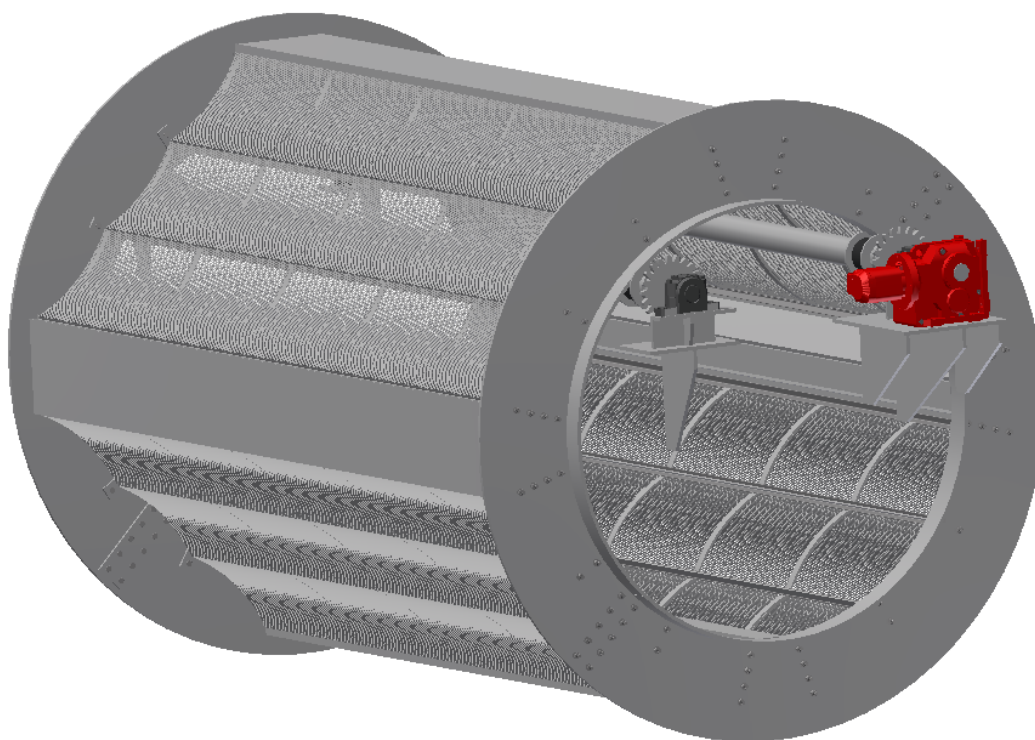
- Použití pro menší objemy
- Energetická náročnost



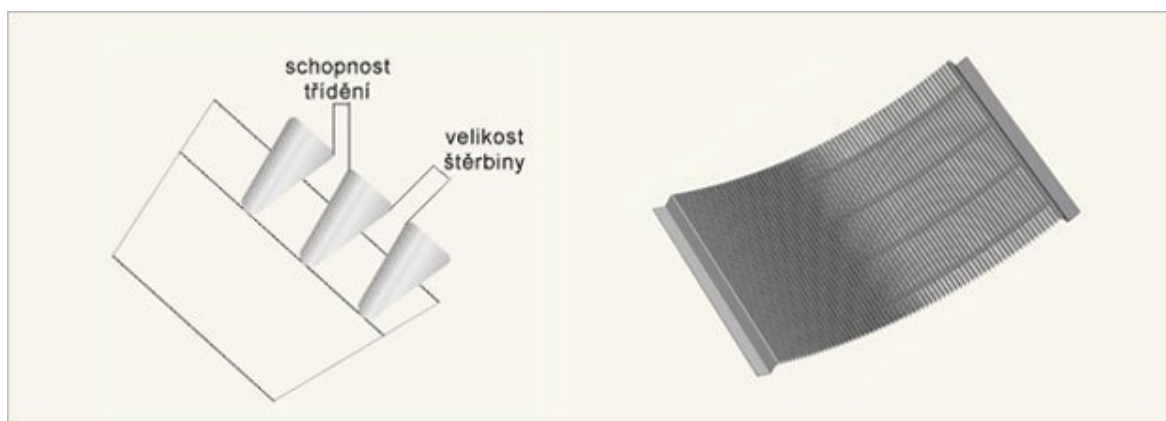
Obr. 14 - Vibrační odvodňovač (13)

3.5.6 Rotační kaskáda „Lazy“

Jedná se o zařízení kombinující výhody rotační kaskády a třídících sítí. Byla vytvořena s požadavkem na stálý provoz, bez nutných technologických odstávek při provádění nutné údržby. Jako třídící element jsou použity oblouková třídící síta, která nám díky zaoblení zlepšují výsledky v odvodňování materiálu. Při navedení materiálu na obloukové síto se vlivem většího přetížení v místě rádiusu materiál lépe odvodní. Tato síta jsou snadno vyměnitelná a v případě zalepení materiálem z jedné strany se dají snadno otočit. Celá kaskáda se pootáčí o 90° podle potřeby obsluhy. Při zalepení jedné strany se kaskáda natočí, materiál se odvodňuje na nových sítích, zatímco síta, která plnila funkci předtím, se díky průtoku odvodněné vody čistí.



Obr. 15 - Kaskáda "Lazy"



Obr. 16 - Detail síta – průřez (14)

4. Teoretické východisko

S ohledem na požadavek kontinuity provozu, velkým objemovým tokům a vlastnostem přiváděného materiálu musíme zvolit zařízení tomu odpovídající. Rotační kaskáda tyto požadavky splňuje a je vhodná k odvodnění propláستku.

Navržená rotační kaskáda bude pracovat téměř nepřetržitě s vysokými požadavky na životnost. Funkční části tedy musí být výměnné. Taktéž obsluhu nebude potřeba nijak nákladně a zdlouhavě zaškolovat. Jedná se o principiálně jednoduché zařízení, které daný úkon splní na výbornou.

Uvnitř kaskády bude namontováno zařízení zachycující suspenzi o malém zrně, která prošla přes odvodňovací síta. Takto odchycená suspenze bude dále odváděna jakožto odpad a nebude dále nijak využita, ani zpracovávána. Toto zařízení bude dodáno firmou RPS Ostrava. Má bakalářská práce bude zaměřena na samotnou konstrukci odvodňovacího bubnu.

O výrobu a zástavbu samotné rotační kaskády se postará již zmíněná firma RPS Ostrava, síta společně s pohonem dodá externí dodavatel. V rámci bakalářské práce bude řešen výpočet elektromotoru včetně kontroly na rozběh a návrh podpírajících kladek rotačního bubnu kaskády. U návrhu kladek spočítáme potřebný průměr hřídele, na které kladky drží, a bude provedena kontrola na otláčení kladek. Samotnou konstrukci rotačního bubnu navrhne co nejúčelněji a nejlevněji s důrazem na funkčnost.

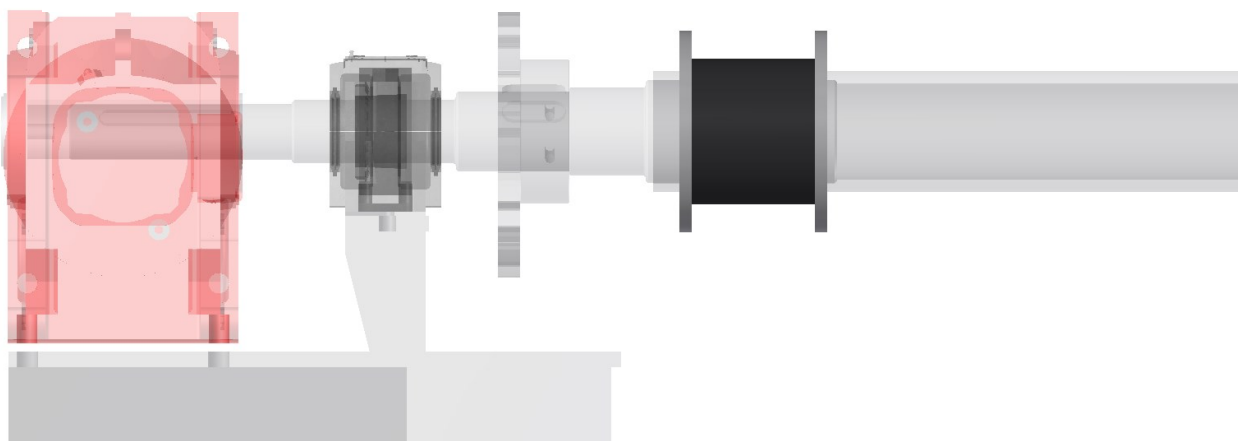
5. Výpočet pojezdových kol

Při návrhu pojezdových kol je třeba spočítat celkovou sílu působící na jednotlivá kola a z toho navrhnout odpovídající průměr pojezdového kola. Na závěr bude vypočítáno a zkontrolováno maximální dovolené zatížení působící na pojezdové kolo.

Pokud je maximální dovolené zatížení menší, než síla působící na jednotlivé pojezdové kolo, výpočet byl správný a můžeme pokračovat dále. Za předpokladu, že by působící síla na jednotlivé kolo vyšla větší, než maximální dovolené zatížení, musíme zvětšit průměr pojezdového kola.



Obr. 17 - Pohled na pojezdová kola



Obr. 18 - Detail pojezdového kola

5.1. Síla působící na pojezdová kola

- Je předpokládána vrstva přiváděného materiálu na síta trojnásobkem velikosti největšího zrna
- Do celkové hmotnosti kaskády je zahrnuta hmotnost sít, nosníku a věnce

5.1.1 Síla působící na pojezdová kola od hmotnosti kaskády

$$F_K = m_K \cdot g = 9340 \cdot 9,81 = 91\,625,4 \text{ N} \quad (5.1.1)$$

m_K – celková hmotnost bubnu kaskády dle 3D modelu v Inventoru. Zkontrolována a schválena dle konzultantů firmy RPS.

g – gravitační zrychlení ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)

5.1.2 Síla působící na pojezdová kola od hmotnosti materiálu

$$F_b = S_s \cdot h_v \cdot \rho = 17,35 \cdot 0,06 \cdot 1900 = 1\,978 \text{ N} \quad (5.1.2)$$

S_s – pracovní síťová plocha

h_v - největší vrstva přiváděného materiálu na plochu sít

ρ – hustota propláستku

5.1.3 Celková síla působící na pojezdová kola

$$F_C = F_K + F_B = 91\,625,4 + 1\,978 = 93\,603,4 \text{ N} \quad (5.1.3)$$

F_K – síla působící na pojezdová kola od hmotnosti kaskády (N)

F_B – Síla působící na pojezdová kola od hmotnosti materiálu (N)

5.1.4 Síla působící na pojezdové kolo

Uvažováno po konzultaci s konstruktérem firmy RPS stejné zatížení všech čtyř pojezdových kol

$$F_{CK} = \frac{F_C}{4} = \frac{93\,603,4}{4} = 23\,401 \text{ N} \quad (5.1.4)$$

5.2. Návrh pojezdového kola

Výpočet proveden dle (15) str. 75-78

5.2.1. Minimální průměr pojezdového kola

$$F_{CK} = k \cdot D_{MIN} \cdot b_k \Rightarrow D_{MIN} = \frac{F_{CK}}{k \cdot b_k} = \frac{23\,401}{8 \cdot 155} = 18,87 \text{ mm} \quad (5.2.1)$$

Průměr pojezdového kola volím z důvodů agresivního prostředí provozu **$D_K = 182\text{mm}$** .

b_k – šířka věnce kaskády (mm)

F_{CK} – síla působící na pojezdové kolo (N)

k – součinitel druhu materiálu (MPa)

Druh provozu	Trvanlivost Y (hod)	Hodnoty k (Mpa) pro materiál kola	
		Ocelolitina 422661.1	kalený povrch
lehký	1000	9	12
střední	1700	9	12
těžký	3000	8,5	11,5
velmi těžký	5000	8	10

Tabulka 1 - Určení součinitele druhu materiálu (15)

5.2.2. Otáčky pojezdového kola

$$n_K = \frac{v}{\pi \cdot D_K} = \frac{4,8}{\pi \cdot 0,182} = 8,4 \text{ ot/min} \quad (5.2.2)$$

D_K – průměr pojezdového kola (m)

v – pojezdová rychlost (m/min)

Pojezdovou rychlost volíme s ohledem k časovému omezení na otočení o 90° , které je 30 vteřin.

5.2.3. Součinitel počtu otáček

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33,33}{n_K}} = \sqrt[3]{\frac{33,33}{8,4}} = 1,58 \quad (5.2.3)$$

n_K – otáčky pojezdového kola (ot/min)

5.2.4. Součinitel trvanlivosti

$$f_H = \sqrt[3]{\frac{Y}{500}} = \sqrt[3]{\frac{5000}{500}} = 2,15 \quad (5.2.4)$$

Y – trvanlivost, viz. Tab.1

5.2.5. Maximální únosnost kola

$$K_{MAX} = \frac{k}{f_H} \cdot D_K \cdot b_K \cdot f_n = \frac{8}{2,15} \cdot 182 \cdot 155 \cdot 1,58 = 165\,848,6 \, N \quad (5.2.5)$$

k – součinitel druhu materiálu, viz. Tab.1

D_K – průměr pojezdového kola (mm)

b_K – šířka věnce kaskády (mm)

f_n – součinitel počtu otáček (-)

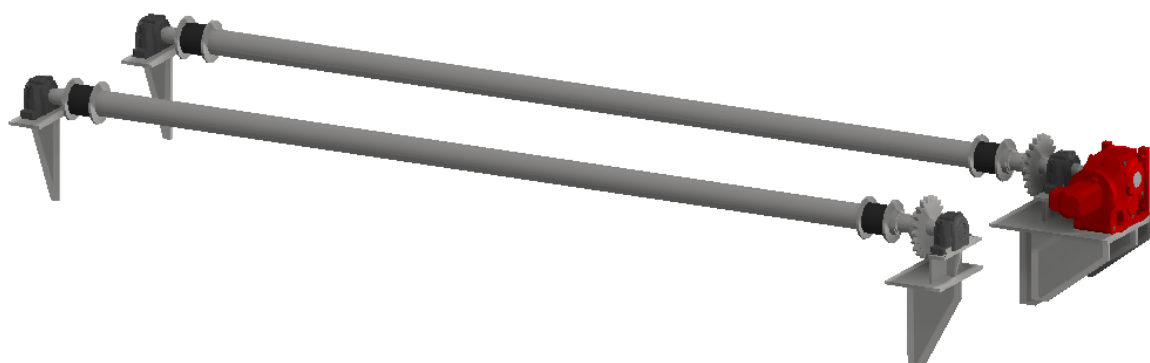
f_H – součinitel trvanlivosti (-)

$$K_{MAX} \geq F_{CK}$$

$$165\,848,6 > 23\,256,7 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

6. Výpočet pohonu

U výpočtu pohonu vycházíme z analogie k jeřábové kočce. Máme čtyři poháněná kola na dvou hřídelích, které jsou spojené řetězovým převodem o převodovém poměru $i=1$, to znamená, že obě řetězové kola mají stejný počet zubů a průměr. Po pojezdových kolech se pohybuje buben rotační kaskády, který se vždycky pootočí pouze o 90° . Na obrázku je samotné uložení bubnu kaskády na čtyřech pojezdových kolech. Věnce bubnu kaskády si představíme jako 2 zkružené kolejnice – od toho analogie k jeřábové kočce.



Obr. 19 - Uložení bubnu kaskády na pojezdových kolech

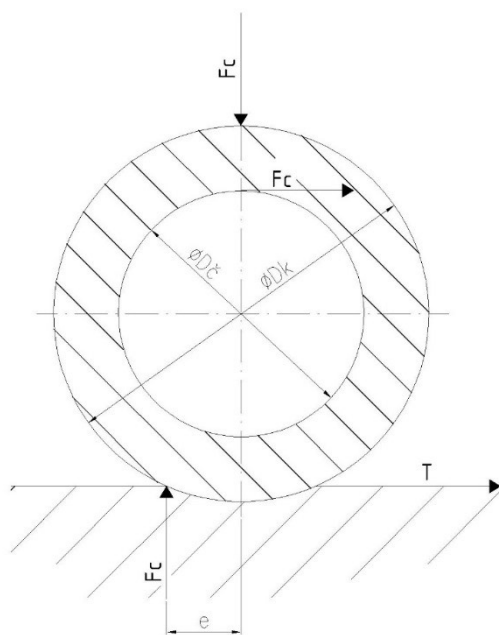
Ve výpočtu začínáme stanovením odporu pojížděcích kol T . Použitý vzorec pro výpočet je k nalezení v použité literatuře, ale níže bude uvedeno i odvození vzorce. Výpočet je klíčový pro další postup, jelikož je podle něj volen použitý motor.

$$\sum M = 0$$

$$T \cdot \frac{D_k}{2} \geq F_c \cdot e + F_c \cdot \frac{D_{\check{c}}}{2} \cdot f_{\check{c}} \quad (6.0.0)$$

$$T \geq F_c \cdot \left(e + \frac{D_{\check{c}}}{2} \cdot f_{\check{c}} \right) \cdot \frac{2}{D_k}$$

Všimnuli jsme si, že v rovnici chybí X . Tahle veličina se přidává pro pokrytí veškerých přídatných odporů, kterou jsem pro zjednodušení z rovnice vynechal. Za X se dosazuje hodnota v rozmezí 2,0 – 2,3 a jedná se o počet styků X odvalovaných ploch v milionech.



Obr. 20 - Stanovení odporu pojížděcích kol

V kapitole 6.1 počítám s rovnicí převzatou z použité literatury. (16) Pokud porovnáme námi odvozený vzorec a vzorec převzatý z použité literatury všimneme si, že obě rovnice jsou téměř totožné. U odvozené rovnice chybí součinitel přídatných odporů, který najdeme v literatuře. Dále ve výpočtech budeme počítat s odporem pojížděcích kol vypočteným dle literatury.

6.1 Stanovení odporu pojížděcích kol T:

Výpočet proveden dle (16)

$$T = \frac{F_c}{R} (e + f_{\text{č}} \cdot r) \cdot \chi = \frac{93603}{0,091} (0,0008 + 0,03 \cdot 0,065) \cdot 2,3 = 6506 \text{ N} \quad (6.1.0)$$

e- součinitel valivého tření (0,0006 – 0,0008 pro ocel na oceli)

f_č – součinitel čepového tření (0,015 – 0,03 pro valivá ložiska)

r – poloměr čepu (m)

R – poloměr pojezdového kola (m)

X – součinitel přídatných odporů pro ústřední pohon na valivých ložiskách, viz. tab. 2

Tabulka 2 - určení součinitele tření (16)

Provedení	hodnoty χ
kluzné	1,2 - 1,3
valivé	2,0 - 2,3

6.2 Stanovení potřebného výkonu motoru P_{pK}

$$P_{pK} = \frac{T \cdot v}{\eta_{CP}} = \frac{6506 \cdot 0,08}{0,84} = 619,6 \text{ W} \quad (6.2.0)$$

η_{CP} – účinnost převodové skříně

v – jezdová rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

6.3 Volba motoru

Volíme kuželočelní převodový motor s brzdou z katalogu firmy SEW.

Pojezd bude realizován pomocí jedné pohonné jednotky, krouticí moment se bude přes řetězové kolo přenášet na druhé jezdové kolo.

Elektromotor	EDRE 90L 4
Jmenovitý výkon P_N	1,5 kW
Otáčky n_M (ot/min)	1430
účinnost na 100% výkonu $\eta_{100\%}$	84
$\cos\varphi$	0,77
Moment setrvačnosti motoru s brzdou J_M	$26,4 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Poměrný spouštěcí moment M_A/M_N	3,2
Poměrné momentové přetížení M_H/M_N	2,8
Výstupní točivý moment za převodovkou M_N	1760 Nm

Volíme převodovku integrovanou s motorem dle katalogu firmy SEW (17)

Typ převodovky	KA97B
Výstupní otáčky n_A (ot/min)	8,1
Hmotnost převodovky a motoru	170 kg
Převodový poměr i	176,05

Tabulka 3 - Specifikace motoru a převodovky (17)

6.3.1 Motor musí splňovat podmínku:

$$P_{pK} < P_N \quad (6.3.1)$$

$$0,620 < 1,500 \text{ kW} \quad \Rightarrow \quad \text{Vyhovuje}$$

Jelikož potřebný výkon motoru při plném zatížení kaskády je menší, než jeho jmenovitý výkon, je zřejmé, že námi navržený motor po stránce výkonové vyhovuje. Motor jsme navrhli téměř 2x výkonnější z důvodů zkušeností a preference firmy RPS. Motor musí být dále zkontrolován na momentovou přetížitelnost.

6.4 Výsledný rozjezdový moment

6.4.1 Stanovení momentů pasivních odporů

$$M_T = T \cdot \frac{R}{i \cdot \eta_{CP}} = 6506 \cdot \frac{0,091}{176,05 \cdot 0,84} = 4 \text{ Nm} \quad (6.4.1)$$

i – převodový poměr převodovky dle tab. 3

η_{CP} – účinnost převodové skříně dle tab.3

T – odpor pojížděcích kol (N)

R – poloměr pojezdového kola (m)

6.4.2 Stanovení zrychlující síly posouvajících se hmot

$$F_{ZP} = \frac{F_C}{g} \cdot \frac{v}{t_a} = \frac{93603}{9,81} \cdot \frac{0,08}{5} = 152,7 \text{ N} \quad (6.4.2)$$

F_C – celková síla působící na pojezdová kola (N)

v – pojezdová rychlost (m/s)

g – gravitační zrychlení

t_a – doba rozjezdu (s), viz tab.4

Tabulka 4 - určení doby rozběhu [(16), str. 306]

Pojížděcí rychlost (m/min)	30	60	90	120
Doba rozběhu t_a (s)	5	6	7	8

6.4.3 Stanovení momentu zrychlujících sil hmotností posouvajících se hmot

$$M_{ZP} = F_{ZP} \cdot \frac{R}{i \cdot \eta_{CP}} = 152,7 \cdot \frac{0,091}{176,05 \cdot 0,84} = 0,09 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (6.4.3)$$

i – celkový převod dle tab.3

η_{CP} – účinnost převodové skříně dle tab.3

F_{ZP} – zrychlující síla (N)

R – poloměr pojezdového kola (m)

6.4.4 Stanovení momentu zrychlujících sil hmot rotujících

$$M_{ZR} = \frac{(J_{M1} + J_{M2}) \cdot \alpha \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_M}{t_a} = \frac{(2 \cdot 0,00264) \cdot 1,2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 23,8}{5} = 0,189 \text{ Nm} \quad (6.4.4)$$

n_M – otáčky motoru (ot/s)

α – součinitel zahrnující vliv zrychlení hmot rotujících na jiných hřídelích, než rotor motoru, vzhledem k tomuto rotu (1,1-1,2)

J_{M1}, J_{M2} – moment setrvačnosti motoru s brzdou (kg/m²)

t_a – doba rozjezdu (s) viz tab.3

6.4.5 Stanovení celkového momentu rozběhu redukovaného na hřídel motoru

$$M_{ROZJ} = M_T + M_{ZP} + M_{ZR} = 4 + 0,09 + 0,189 = 4,279 \text{ Nm} \quad (6.4.5)$$

M_T – moment pasivních odporů

M_{ZP} – moment zrychlujících sil hmot posuvných

M_{ZR} – moment zrychlujících sil hmot rotujících

6.5 Kontrola rozjezdu motoru

Námi vypočtený moment rozběhu redukováný na hřídel motoru musí být menší, než spouštěcí moment mnou navrženého momentu. Z tabulky 3 je zřejmé, že součinitel spouštěcího momentu $\frac{M_A}{M_N}$ je 3.2, z toho vypočteme spouštěcí moment motoru.

$$\frac{M_A}{M_N} = 3,2 \quad (6.5.0)$$

$$M_A = 3,2 \cdot M_N = 3,2 \cdot 1760 = 5632 \text{ Nm} \quad (6.5.1)$$

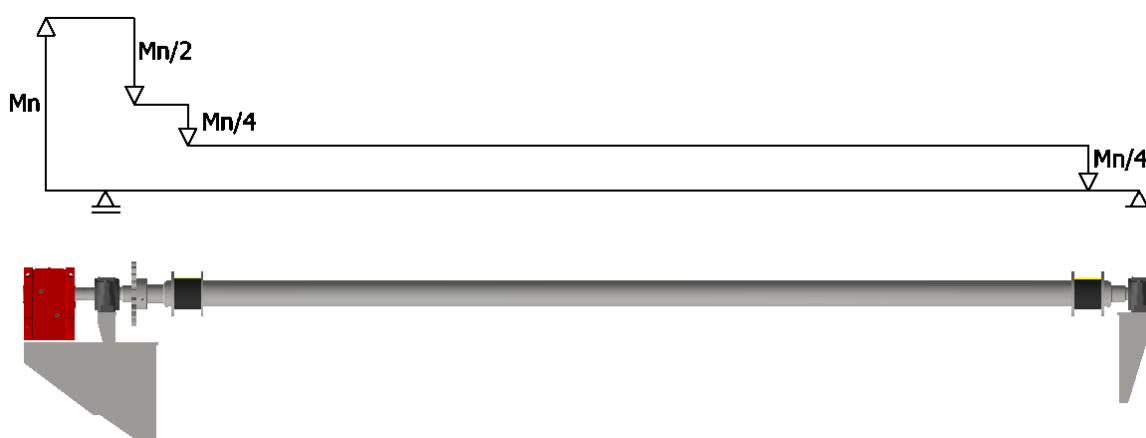
$M_A > M_{ROZJ} \Rightarrow$ Vyhovuje

M_N – nominální točivý moment motoru

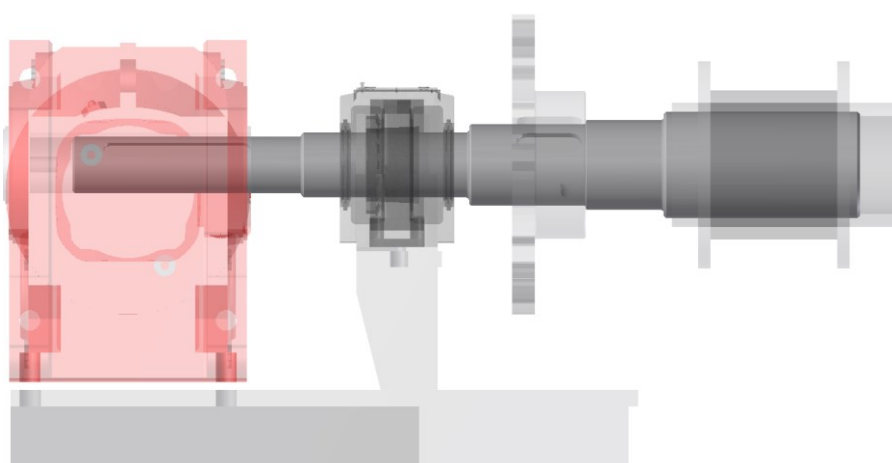
M_A – spouštěcí moment motoru

7. Hnací hřídel

Při výpočtu hnacího hřídele budeme vycházet z krouticího momentu M_N vycházejícího z motoru, jelikož tam je v celé soustavě největší krouticí moment. Vyházíme z úvahy o distribuci krouticího momentu. Z motoru nám jde krouticí moment o velikosti M_N , který se dále přenese na dvě hřídele. Na každém hřídeli se nacházejí 2 pojezdová kola. Jakmile se krouticí moment přenese za řetězové kolo, má poloviční velikost. Za předpokladu, že na každé pojezdové kolo působí stejný krouticí moment, musí se na prvním pojezdovém kole opět podělit na půl. Pro lepší pochopení je přiložen obrázek, kde je kombinace bokorysu 3D modelu společně s náčrtem o úvaze distribuce krouticího momentu.



Obr. 21 - průběh krouticích momentů



Obr. 22 - Detail uložení hnací hřídele

Jako materiál hnacího hřídele bude použita ocel 11600 s dovoleným míjivým napětím v krutu v rozmezí 65-105 MPa. Při návrhu průměru hřídele nesmíme zapomenout na drážku pro pero, která hřídel oslabí. Budeme počítat s dovoleným napětím v krutu 65 MPa, abychom byli na straně bezpečnosti.

Samotné pero navrhne podle vypočteného průměru hřídele. Dále spočítáme délku pera a provedeme kontrolu na střih a otláčení. Výpočty provedeny dle (18).

7.1. Výpočet minimálního průměru hnacího hřídele

$$\tau_{DK} = \frac{M_N}{W_K} \leq \tau_{DK} \quad (7.1.0)$$

$$W_K \geq \frac{M_N}{\tau_{DK}}$$

$$\frac{\pi \cdot d^3}{16} \geq \frac{M_N}{65 \cdot 10^6}$$

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_N \cdot 16}{65 \cdot 10^6 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{1760 \cdot 16}{65 \cdot 10^6 \cdot \pi}} = 0,05166 \text{ m} = 51,7 \text{ mm}$$

Volím průměr hřídele $d = 70 \text{ mm}$.

$$d - t = 70 - 7,4 = 62,6 \text{ mm} \quad (7.1.1)$$

$62,6 \geq 51,7 \Rightarrow$ Námi navržený průměr hřídele vyhovuje

M_N – výstupní krouticí moment z motoru

W_K – modul průřezu v krutu

τ_{DK} – dovolené napětí v krutu dle (19)

7.2. Výpočet délky pera

$$p_D = \frac{F}{S_P} = \frac{2 \cdot M_N}{d \cdot t_1 \cdot l_P} \quad (7.2.0)$$

$$l_P = \frac{2 \cdot M_N}{p_D \cdot d \cdot t_1} = \frac{2 \cdot 1760 \cdot 10^3}{65 \cdot 70 \cdot 4,6} = 168,2 \text{ mm}$$

Volím délku pera $l_P = 180 \text{ mm}$

S_P – plocha průřezu pera

t_1 – hloubka drážky v náboji

Pero 20e7 x 12 x 180 dle ČSN 02 2562

7.3. Kontrolní výpočet pevnosti ve stříhu pera

$$\tau_S = \frac{F}{S} \leq \tau_{DS} \quad (7.3.0)$$

$$\tau_S = \frac{2 \cdot M_N}{d \cdot b \cdot l_P} = \frac{2 \cdot 1760 \cdot 10^3}{70 \cdot 12 \cdot 180} = 23 \text{ MPa}$$

$$\tau_{DS} = 65 - 105 \text{ dle (20)}$$

$$\tau_S \leq \tau_{DS}$$

$23 < 65 \text{ MPa} \Rightarrow$ Vyhovuje

τ_{DS} – dovozené napětí ve stříhu dle (19)

b – šířka pera

l_P – délka pera

7.4. Kontrolní výpočet měrného tlaku na boky pera

$$p = \frac{F}{S_p} = \frac{2 \cdot M_N}{d \cdot t_1 \cdot l} \leq p_D \quad (7.4.0)$$

$$p = \frac{2 \cdot 1760 \cdot 10^3}{70 \cdot 4,6 \cdot 180} = 60,73$$

$$p_D = 65 - 180 \text{ MPa}$$

$$p \leq p_D$$

60,73 < 65 MPa => Vyhovuje

p_D – dovolený tlak ve stykových plochách dle (21)

V kapitole 7 se nám podařilo vypočítat a následně zkontrolovat průměr hnací hřídele. Průměr hřídele jsme navrhli velikosti 70 mm, i přesto, že z kontroly na krut nám vyšel hřídel velikosti 51,7 mm. Volili jsme tak kvůli následnému oslabení hřídele drážkou na pero.

Drážku na pero jsme navrhli ze strojnických tabulek a následně výpočtem ověřili pevnost na stříh a otlačení na bocích pera.

Hnací hřídel bude spojena s trubkou pomocí koutového svaru velikosti 3 mm. Trubka, se kterou je hnací hřídel spojen má za úkol pouze přenést část krouticího momentu na druhé pojízděcí kolo, a proto se v kapitole 8 kontroluje na namáhání krouticím momentem.

8. Průběžná trubka pro přenos krouticího momentu

V téhle kapitole budeme výpočtem ověřovat pevnost námi navržené trubky. Na doporučení z firmy RPS Ostrava vycházíme z trubky TR 152 x 16 dle ČSN 42 5715. Tento rozměr zkontrolujeme na namáhání od krouticího momentu motoru a provedeme výpočet na průhyb trubky za použití programu MITCalc.



Obr. 23 - Průběžná trubka zobrazena v polovičním řezu

8.1. Namáhání od krouticího momentu

Výpočet proveden dle (18)

$$W_K = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{D_t^4 - d_t^4}{D_t} \quad (8.1.0)$$

$$W_K = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{152^4 - 120^4}{152} = 421\,679,778 \text{ mm}^3$$

$$\tau_K = \frac{M_N}{W_K} \leq \tau_{DK} \quad (8.1.1)$$

$$\tau_K = \frac{1760000}{421679,778} = 4,174 \text{ MPa}$$

$$\tau_{DK} = 55 - 75 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$\tau_K < \tau_{DK}$$

$$4,174 < 55 \quad \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

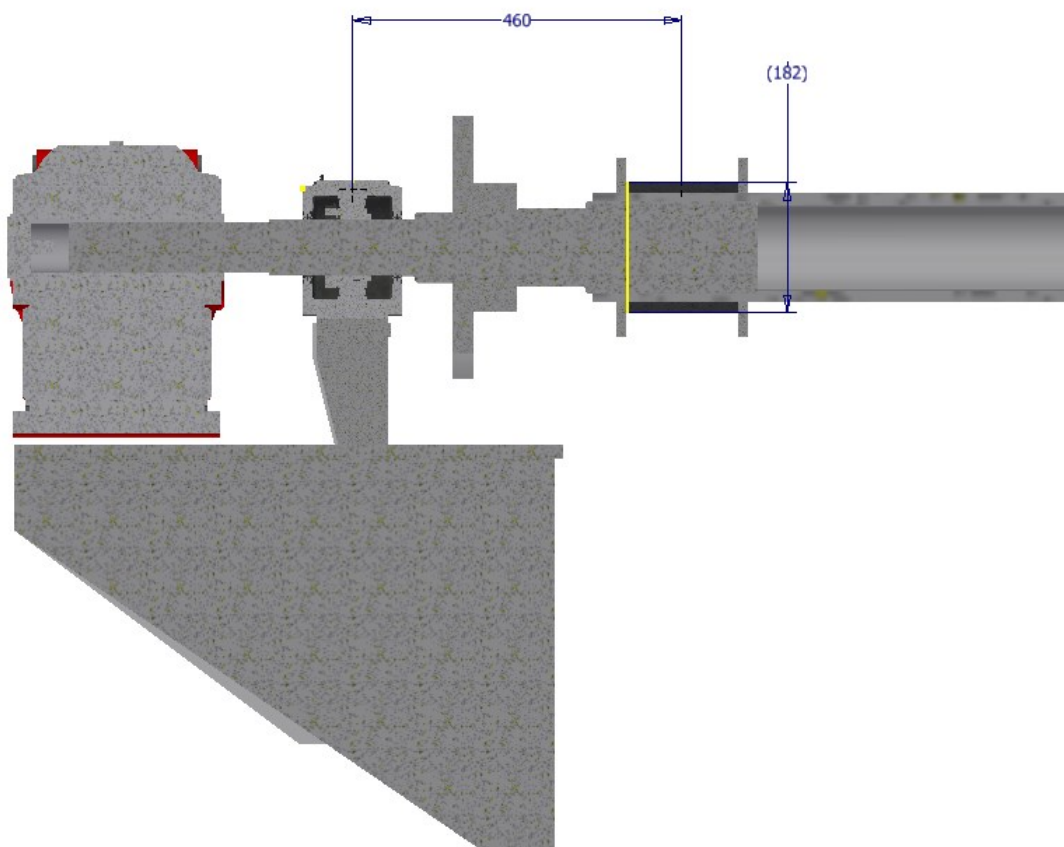
Z výsledku vidíme, že trubka by zvládla i větší krouticí momenty, než je použitý na rotační kaskádě. Jako další krok můžeme zvolit menší průřez trubky a opět ověřit výpočtem, ale necháme dostatečně naddimenzovaný průřez z důvodu působení agresivního okolí na trubku. Takto máme zajištěnou pevnost po dostatečně dlouhou dobu na úkor nepatrně vyšších výrobních nákladů.

8.2. Výpočet průhybu trubky

K zjištění průhybu trubky jsme použili program MITCalc, výsledky viz příloha. Podle programu vyšel průhyb -3,782 mm na délku trubky 5927 mm, což je v našem případě naprosto v pořádku. Průhyb vyšel zhruba v 1/3 trubky ze strany motoru. Dávám to za vinu radiální složce síly od řetězového kola.

9. Namáhání hřídele pod pojezdovým kolem

Nejprve vypočítáme ohybové napětí a napětí v krutu. Z těchto dvou napětí jsme schopni vypočítat napětí redukované, které následně porovnáme s dovoleným napětím v tahu. Pokud je redukované napětí menší, než dovolené napětí v tahu, splnili jsme podmínku a namáhání pojezdového kola nebude větší, než je dovoleno. Výpočet proveden dle (22)



Obr. 24 - Řez hnací hřídelí s pojezdovým kolem

$$\sigma_O = \frac{M_O}{W_O} = \frac{F \cdot 460}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{23256 \cdot 460}{\frac{\pi \cdot 182^3}{32}} = 18,075 \text{ MPa} \quad (9.0.0)$$

$$\tau_K = \frac{M_N}{W_K} = \frac{1760000}{\frac{\pi \cdot d^3}{16}} = \frac{1760000}{\frac{\pi \cdot 182^3}{16}} = 1,487 \text{ MPa} \quad (9.1.0)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{\sigma_O^2 + 3 \cdot \tau_K^2} \leq \sigma_{Tdov} \quad (9.2.0)$$

$$\sigma_{RED} = \sqrt{18,075^2 + 3 \cdot 1,487^2} = 18,26 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Tdov} = 85 - 120 \text{ MPa} \quad (21)$$

$$\sigma_{RED} < \sigma_{Tdov}$$

$$18,26 < 85 \Rightarrow \text{Vyhovuje}$$

10. Technická zpráva

Otočná kaskáda se skládá z pohonu a svařovaného rámu pro uchycení šterbinových sít SCR 28/05/3. Síta s rámem tvoří válec, který je uložen na dvou hřídelích protažených vnitřkem válce. Tyto hřídele zajišťují otáčení s kaskádou. Pohon je realizován pomocí kuželočerného převodového motoru SEW KA97B EDRE90L4. Hřídele jsou uloženy v ložiskových tělesech SKF SNL 518-615 a spojeny řetězovým převodem.

Strojní zařízení je projektováno v souladu s předpisy o bezpečnosti práce.

Pro bezpečný a bezporuchový provoz musí být dodržovány následující pokyny:

- Vstup do technologického objektu mají pouze osoby znalé provozu.
- Provoz, obsluha a údržba zařízení se musí řídit platnými normami a předpisy.
- Musí být dodržovány veškeré provozní předpisy vypracované provozovatelem.
- Všechny rotující části strojů a zařízení musí být opatřeny ochrannými kryty dle platných norem.
- Musí být respektovány základní požadavky vyhlášky ČÚBP č.192/2005, ČSN 38 6420, ČSN 33 3201, ČSN 65 0201 a dalších souvisejících norem a předpisů.
- Při opravách, seřizování a čištění musí být učiněna taková opatření, aby nebylo možno stroje uvést do chodu a to ani omylem.
- Provozovatel proškolil pracovníky obsluhy dle svých provozních a bezpečnostních předpisů.
- Zařízení smí obsluhovat osoby, které byly řádně proškoleny a s obsluhou prokazatelně seznámeny.

- Obsluha je povinná používat při práci pracovní oděv, předepsanou pracovní obuv a ochrannou přilbu (dle vyhlášky č. 144/2004 Sb.) a další bezpečností a ochranné pomůcky stanovené vnitřními předpisy společnosti.
- Pokud bude rotační kaskáda nepoužívána déle, než 24 hodin a dojde k nalepení a následnému zaschnutí proplástku na ploše sít, je třeba před dalším spuštěním síta očistit pomocí odpadní vody.

11. Závěr

V úvodní části bakalářské práce jsme shrnuli aktuální stav techniky a další možné způsoby odvodnění. Zaměřili jsme se hlavně na mechanický způsob odvodnění, kde nám jako nejlepší volba vyšla rotační kaskáda. Kaskáda má oproti zbytku zařízení obrovskou výhodu ve své velké ploše sít, skoro bezúdržbového provozu a možnosti pootočení a zapojení do práce nové sady sít na stisk tlačítka.

Odvodňovací buben rotační kaskády bude dále doplněno o další technologii, a sice výlevku nainstalovanou uvnitř odvodňovacího bubnu. Tato výlevka bude odvádět odpadní vodu společně s frakcí o malém zrna, která nám prošla přes síta.

V následující části bakalářské práce jsme se zaměřili na výpočet a návrh kuželočelního převodového elektromotoru, který bude sloužit k pootočení bubnu kaskády. Motor jsme následně volili o výkonu 1,5 kW a točivém momentu 1760 Nm, i přesto, že ve výpočtech nám vyšel potřebný výkon 600W. Volili jsme tak z důvodů preference firmy RPS Ostrava a možnosti nechat si výkonovou rezervu, pokud by byla z jakýchkoliv důvodů potřeba.

Následně jsme provedli pevnostní výpočty pojezdových kol a hnacího hřídele společně s průhybem trubky za pomoci softwaru MitCalc. Veškeré pevnostní výpočty nám vyšly v povolených mezích. Navazující, a finální, částí byla technická zpráva, kde jsme shrnuli konstrukci i bezpečnostní doporučení při provozu stroje.

Seznam použitých obrázků

OBR. 1 - PAVOUKOVÝ DIAGRAM ZPŮSOBŮ ODVODNĚNÍ	18
OBR. 2 - HYDROCYKLÓN SE ZNÁZORNĚNÍM FUNKCE (23).....	19
OBR. 3 – ODSŘEDIVKA (24)	20
OBR. 4 - SOUSTAVA ROTAČNÍCH TŘÍDICÍCH SÍT (5).....	21
OBR. 5 - KOMOROVÝ KALOLIS (6).....	22
OBR. 6 - KOMORA KALOLISU (6)	22
OBR. 7 - PÁSOVÝ LIS (6).....	23
OBR. 8 - HYPERBARICKÝ FILTR (8).....	24
OBR. 9 - KOREČKOVÉ KOLO S PŘIHRNOVACÍM ŠNEKEM (9)	25
OBR. 10 - ROTAČNÍ KASKÁDA (10).....	26
OBR. 11 - VIBRAČNÍ TŘÍDIČ (11).....	27
OBR. 12 - KALOVÝ ODVODŇOVACÍ ŠNEKOVÝ VYNAŠEČ (12)	28
OBR. 13 - HRABIČKOVÝ VYNAŠEČ (25).....	29
OBR. 14 - VIBRAČNÍ ODVODŇOVAČ (13).....	30
OBR. 15 - KASKÁDA "LAZY"	31
OBR. 16 - DETAIL SÍTA – PRŮŘEZ (14)	31
OBR. 17 - POHLED NA POJEZDOVÁ KOLA.....	33
OBR. 18 - DETAIL POJEZDOVÉHO KOLA.....	33
OBR. 19 - ULOŽENÍ BUBNU KASKÁDY NA POJEZDOVÝCH KOLECH.....	37
OBR. 20 - STANOVENÍ ODPORU POJÍŽDĚCÍCH KOL	38
OBR. 21 - PRŮBĚH KROUTICÍCH MOMENTŮ	43
OBR. 22 - DETAIL ULOŽENÍ HNACÍ HŘÍDELE	43
OBR. 23 - PRŮBĚŽNÁ TRUBKA ZOBRAZENA V POLOVIČNÍM ŘEZU	47
OBR. 24 - ŘEZ HNACÍ HŘÍDELI S POJEZDOVÝM KOLEM.....	48

Seznam použitých tabulek

TABULKA 1 - URČENÍ SOUČiniteLE DRUHU MATERIÁLU (15)	35
TABULKA 2 - URČENÍ SOUČiniteLE TŘENÍ (16)	38
TABULKA 3 - SPECIFIKACE MOTORU A PŘEVODOVKY (17)	39
TABULKA 4 - URČENÍ DOBY ROZBĚHU [(16), STR. 306]	41

Seznam použité literatury

1. **Sohr, Mgr. Martin.** Ridepal. *Ridepal*. [Online] [Citace: 3. Prosinec 2015.]
<http://ridepal.ridera.eu/voda-v-pytli-s-uhlim/>.
2. **Severočeské doly a.s.** SD - Bílinské uhlí. *SD - Bílinské uhlí*. [Online] [Citace: 6.. Březen 2016.] <http://www.sd-bilinskeuhli.cz/aktuality/uhli-a-voda.aspx>.
3. **VT Group.** Filter Invest. *Hydrocyklon*. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]
<http://www.filterinvestsk.com/images/Cycloon.pdf>.
4. **Alfalaval.** Alfalaval. *Separátory*. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]
<https://local.alfalaval.com/cs-cz/produkty/separace/separatory/Pages/separatory.aspx>.
5. **Abranova.** Vibrační třídiče. *Abranova*. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]
<http://www.abranova.cz/vibracni-tridice.htm>; .
6. **SMW.** Srovnání možných návrhů kalových koncovek. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.] <http://www.smv.cz/res/archive/013/001597.pdf>.
7. **Hornický klub.** Úpraverenské procesy. [Online] 3.. Prosinec 2015. <http://www.hornicky-klub.info/edice/tridirny.pdf>.
8. **Karvinský deník.** Hyperbarický filtr Karviná. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]
[http://karvinsky.denik.cz/galerie/foto.html?mm=140620-karvina-hyperbaricky-filtr](http://karvinsky.denik.cz/galerie/foto.html?mm=140620-karvina-hyperbaricky-filtr;);
9. **APExport.** Dehydrátory. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]
<http://apexport.eu/CZ/katalog-zarizeni/dehydratory/details/24/8/klassifikatori/kovshevoy-klassifikator.html>; .

10. **Prosand.** Rotační odjílovač. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.] <http://www.prosand.cz/rotacni-odjilovac.php>; .
11. **SG-Stroj.** Vibrační třídič. *SG-Stroj*. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.] <http://www.sg-stroj.cz/vibracni-tridic>.
12. **Henková, Svatava.** *Stroje na úpravu kameniva*. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.] http://work.adamna.net/stavebni_stroj/predmet-bw03/prednaska-4#šnekový-vynášec.
13. **DSPPrerov.** Vibrační odvodňovače. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.] <http://www.dspprerov.cz/nase-vyrobky/tridice/vibracni-odvodnovace-vo.html>.
14. **Progress Moravia.** Oblouková síta. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.] <http://www.progress-screens.cz/prumyslova-sita/katalog/prumyslova-sita/sterbinova-sita/obloukova.html>.
15. **Mynář, B.** *Dopravní a manipulační zařízení*. elektronická skripta VUT v Brně : autor neznámý, 2002.
16. **Remta F., Kupka L., Dražan F.,** *Jeřáby 2, přepracované a doplněné vyd.* . místo neznámé : SNTL Praha, 1975.
17. **SEW Eurodrive.** Katalog převodových motorů. [Online] [Citace: 5.. Březen 2015.] <http://www.sew-eurodrive.cz/dr-motor/katalog.html>.
18. **SSPU - Ostrava.** Výpočet nosných hřídelů. [Online] [Citace: 5.. Duben 2016.] http://www.sspu-opava.cz/~dolezi/SPS/2_rocnik/26_Vypocet_nosnych_a_pohybovych_hridelu..pdf.
19. **e-konstrukter.cz.** Hodnoty dovolených napětí pro ocel. [Online] [Citace: Duben. 6. 2016.] <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezi-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>.
20. **Leinveber J., Vávra P.,** *Strojnické tabulky - čtvrté doplněné vydání*. Praha : SNTL, 2002.
21. **E-Konstrukter.** Dovolené napětí pro ocel. [Online] [Citace: 6.. Duben 2016.] <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/hodnoty-mezi-pevnosti-kluzu-unavy-a-dovolenych-napeti-pro-ocel>.

22. **SPS-Opava.** [Online] [Citace: 20.. Duben 2016.]

http://www.strojka.opava.cz/UserFiles/File/_sablon/SPS_II/VY_32_INOVACE_C-07-14.pdf.

23. **autor, Neznámý.** Academic.ru. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]

http://dic.academic.ru/pictures/enc_geolog/522.jpg; .

24. **CESCO.** CESCO. [Online]

<http://www.gocesco.com/CESCO%20Image%20Audio%20and%20Video%20File%20Library/CESCO%20Pulp%20and%20Paper%20Brochure%201-1-2016.pdf>; .

25. **Astro Vlašim.** Vynášecí dopravníky. [Online] [Citace: 3.. Prosinec 2015.]

<http://www.balicistroje.cz/cs/11-cs/stroje/58-vynaseci-dopravniky-vd1-vd2-a-vd3>.

Seznam příloh

Sestavný výkres - „Rotační kaskáda“ SME0075-1; A0

Výrobní výkres

Výpočet trubky za pomoci softwaru MitCalc - „MC-Trubka“